

Fahrdynamik – Fahrsicherheit – Fahrerplatz

Jan Krüger, Henning Jürgen Meyer

Kurzfassung

Die Traktorkabine dient neben der reinen Maschinenbedienung zunehmend als Arbeitsplatz, von dem aus andere Aufgaben, wie das Prozessdatenmanagement, erledigt werden. Die wachsende Verbreitung von Assistenzfunktionen soll dabei helfen, die immer komplexer werdenden Arbeitsfunktionen zu beherrschen. Dafür sind neue Bedienkonzepte erforderlich, die adaptiv arbeiten und außerdem Informationen über Parameter außerhalb des eigenen Fahrzeugs anzeigen (Farm Management System). Einige Forschungsarbeiten experimentieren mit vollkommen neuen Ansätzen, bei denen mehrere Fahrzeuge im Schwarm eingesetzt werden, was eine völlig neue Arbeitsumgebung erfordert. Dennoch sind auch klassische Themen wie die Weiterentwicklung von Überschlagschutzsystemen weiterhin bedeutsam.

Schlüsselwörter

Fahrsicherheit, Fahrerassistenzsysteme, Fahrkomfort, Fahrerkabine

Ride Dynamics – Ride Safety – Driver's Place

Jan Krüger, Henning Jürgen Meyer

Abstract

The tractor cab is becoming more and more a place from where not only the machine is controlled but also the whole farming process is managed. Additional driver assistance systems can help to reduce complexity. New human machine interfaces with adaptive behaviour that also show additional parameters from other participants of the farming process are necessary. Some studies experiment with swarm units as a different approach of how farming might look like in the future. This would eventually change the workplace of today's tractor operators drastically. Traditional research subjects like Roll Over Protection Systems are still of importance.

Keywords

Ride safety, driver assistance systems, driving comfort, driver's cab

Fahrdynamik

Traktion

Um bei der Bodenbearbeitung eine große Zugkraftübertragung zu ermöglichen, wird in der Regel der Reifendruck abgesenkt. Dabei ist die Annahme weit verbreitet, dass ein niedriger Reifendruck sich generell positiv auf die Traktion auswirkt und man daher den niedrigsten möglichen Druck einstellen sollte, den der Reifenhersteller zulässt. Der Stand der Forschung zeigt jedoch, dass es für einen optimalen Traktionswirkungsgrad nicht günstig ist, den Reifennennendruck bis an die Reifentragfähigkeitsgrenze abzusenken, da der optimale Reifendruck von den aktuellen Traktionsbedingungen abhängig ist. Wieckhorst et al. stellen in ihrer Studie exemplarisch gemessene Reifen-Boden-Kennfelder vor, mit deren Hilfe der hinsichtlich des Traktionswirkungsgrads optimale Reifenluftdruck bestimmt werden kann [1].

Neben dem Reifendruck gibt es zahlreiche weitere Einflussfaktoren, die den Traktionswirkungsgrad beeinflussen. Das Modell von Regazzi et al. soll helfen, möglichst schon in der Entwicklungsphase die verschiedenen Auslegungsparameter optimal festlegen zu können [2]. Für Allradtraktoren mit mechanischem Frontantrieb wird der Einfluss auf verschiedene konstruktive Größen bestimmt. Ergebnisse zeigen beispielsweise, dass sich bei einer zunehmenden Voreilung der Vorderräder eine Verlagerung des Fahrzeugschwerpunkts nach hinten positiv auf den Traktionswirkungsgrad auswirkt.

Weitere Arbeiten zur Verbesserung der Traktion von Traktoren knüpfen an die Fragestellungen der vergangenen Jahre an und erweitern diese. So wird die Problematik der Zugkraft und Bodenverdichtung von Reifen bzw. Raupenlaufwerken weiter beleuchtet und auch die zusätzliche Traktion durch ein angetriebenes Rad am Anbaugerät ist Gegenstand aktueller Forschungsarbeiten [3 bis 5].

Assistenzsysteme

Neben den durch das Fahrzeug vorgegebenen Einflussgrößen ist die fahrzeugführende Person ein wichtiger Faktor, der die Effizienz des Arbeitsvorgangs mitbestimmt. Im vergangenen Jahr wurden weitere Funktionen vorgestellt, die die Fahrerinnen und Fahrer bei ganz speziellen Aufgaben entlasten. Ein System von ZF Friedrichshafen AG zur Erkennung von Steigungen im Gelände soll beispielsweise dabei unterstützen, eine definierte Zielgeschwindigkeit einzuhalten [6]. Mit Hilfe eines Radarsensors wird der Anstieg erkannt und anschließend eine notwendige Erhöhung der Motordrehzahl bzw. der Übersetzung des stufenlosen Getriebes berechnet. Dadurch wird außerdem ein sanfterer Übergang beim Befahren eines Anstiegs ermöglicht. Das System kann auch zur Effizienzsteigerung verwendet werden. In **Bild 1** sind Motormoment und -drehzahl sowie die Fahrzeuggeschwindigkeit mit und ohne Anstiegserkennung dargestellt. Nach Erkennung des Anstiegs am Punkt 1 wird die Motordrehzahl vorausschauend erhöht. Damit fällt die Reduktion der Fahrgeschwindigkeit um 2 km/h geringer aus, was eine Zeitersparnis von 1,2 Sekunden zur Folge hat.

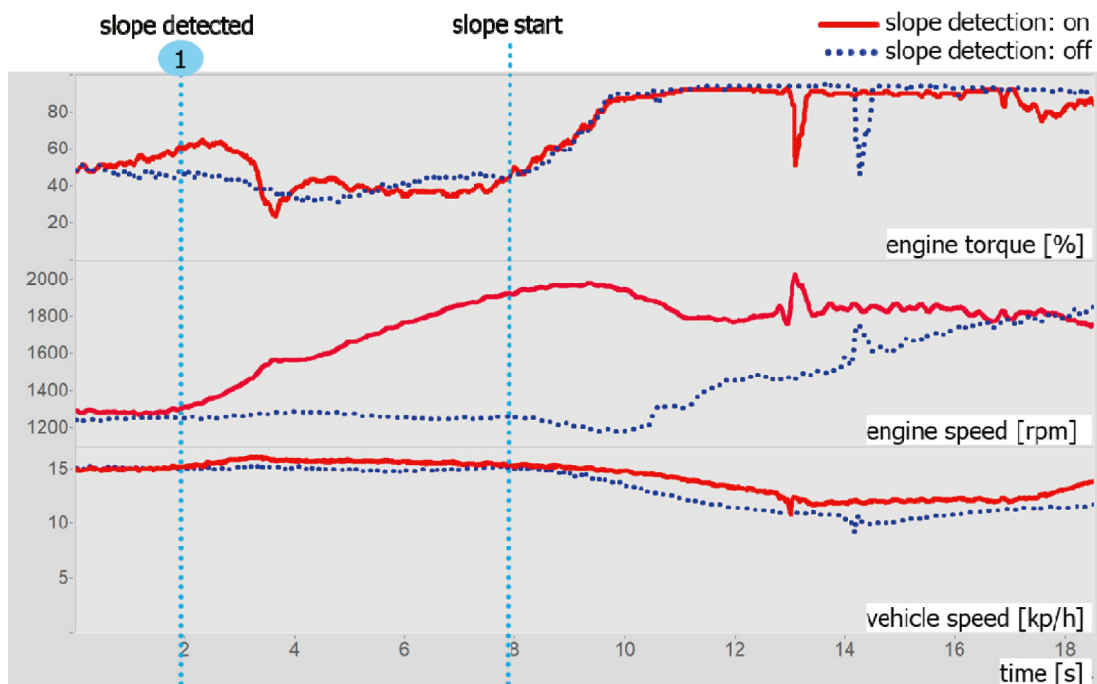


Bild 1: Fahrzeugdaten mit und ohne vorausschauender Regelung [6]

Figure 1: Vehicle measurement with and without predictive drive [6]

Oskarsson et al. stellen verschiedene Assistenzsysteme für Frontladerarbeiten vor, die insbesondere unerfahrene Fahrer dabei unterstützen, das hydraulische System zu schonen und Arbeiten präziser und schneller auszuführen und Becker et al. setzen maschinelles Lernen ein, um für den Arbeitsvorgang „Pflügen“ die optimale Fahrgeschwindigkeit zu bestimmen [7; 8]. Das System kann in einem Effizienzmodus den Kraftstoffverbrauch reduzieren, ein Performance-Modus zielt auf eine möglichst schnelle Bearbeitung der Fläche. Eine vollautomatisierte Spurverfolgung bei der Bodenbearbeitung, welche den Schlupf auf Grund verschiedener Bodenbedingungen bei der Verfolgung der Fahrspuren berücksichtigt, stellen Han et al. vor [9].

Der Trend zu höheren Fahrgeschwindigkeiten bis zu 60 km/h stellt auch an die hydraulische Lenkung höhere Ansprüche. Statt die Anstrengung der fahrzeugführenden Person beim Lenken über subjektive Fragebögen zu bestimmen, schlagen die Autoren einer dänischen Studie der Firma Danfoss vor, verschiedene biometrische Messwerte mittels Elektromyographie (Muskelaktivitätsmessung), die elektrodermale Aktivität (Widerstandsmessung auf der Haut) sowie die Herzfrequenz zu bestimmen [10]. Zusätzlich werden Lenkroboter eingesetzt, um Lenksysteme zu evaluieren. Beim Vergleich einer konventionellen hydraulischen Lenkung mit einer neu entwickelten Lenkung ohne Lenkungsspiel auf einem Testparcours zeigte die gemessene Muskelaktivität eine Tendenz zur Reduktion von 11-16 %. Ein statistisch signifikanter Einfluss konnte jedoch nicht gemessen werden. Die subjektive Bewertung zeigte eine Verbesserung von 38 % beim Lenkungsaufwand. Danfoss zeigt in einer weiteren Untersuchung, wie für eine Allradlenkung die virtuelle Lenkachssposition sowie die Änderungsrate dieser Position in Abhängigkeit der Fahrgeschwindigkeit gewählt werden kann, um ein sicheres Fahrverhalten zu gewährleisten [11].

Fahrsicherheit

Überschlagerkennung und Überrollschutz

Insbesondere steile Anstiege, wie sie beim Übergang von Reisfeldern zum Wirtschaftsweg zu finden sind, können bei kleinen Traktoren zum Abheben der Vorder- oder Hinterachse führen bzw. sogar einen vollständigen Kontaktverlust aller Räder herbeiführen. Laut den Autoren einer japanischen Studie kann das Verhalten der Traktoren wie das Springen eines Balls beschrieben werden. In diesen Situationen ist das Fahrzeug starken Vibrationen ausgesetzt. Weiterhin ist die Lenkwirkung begrenzt und das Fahrzeug droht, sich zu überschlagen. Ein von den Autoren entwickeltes nichtlineares Modell untersucht die Einflussparameter auf dieses Verhalten [12]. Qin et al. versuchen durch automatische Erkennung der drohenden Überschlagssituation und einen gegenwirkenden aktiven Lenkeingriff, den Überschlag zu vermeiden [13]. In einer anderen Arbeit setzten japanische Forscher eine Physik-Engine, wie sie bisher vor allem für Computerspiele populär ist, zur Analyse der Dynamik von Überschlägen ein [14].

Kommt es trotz Modellrechnungen bzw. Assistenten zu einem Überschlag, kann ein Überrollschutz schwerwiegende Folgen eines Unfalls vermeiden. Insbesondere ältere und kleine Traktoren verfügen jedoch häufig nicht über einen geeigneten Schutz, was im Fall eines Überschlags häufig zu schweren Verletzungen bis hin zum Tod führen kann. Eine Studie aus Iowa untersucht die Motivationsfaktoren und Hemmnisse, Traktoren mit Überrollschutzsystemen (ROPS - Roll Over Protection System) nachzurüsten. Die befragten Landwirte sagten, dass bei der Anwesenheit von Kindern oder Hilfskräften eine Nachrüstung sehr wichtig sei. Ist nur eine Eigennutzung der Maschine vorgesehen, so wird die Nachrüstung eines Überrollschutzes als weniger wichtig eingeschätzt. Auch die möglichen Kosten wurden als Hindernis genannt, wobei dieses nur Rang 10 der wichtigsten Hindernisgründe einnahm. Landwirte mit ebenen Feldern ohne Hügel beachten laut der Studie häufig nicht die Risiken, die durch andere Geländeunebenheiten wie Gräben (beispielsweise zur Entwässerung) entstehen [15].

Einklappbare ROPS zur Reduktion der Durchfahrthöhe sind beispielsweise im Obstbau notwendig. Ayers et al. erweitern ihre Arbeiten zu kostengünstigen einfachen Überrollschutzsystemen mit einem universellen nachrüstbaren Mechanismus zum Ein- und Ausklappen der Schutzbügel. Diese sind mit geringem Kraftaufwand vom Sitzplatz aus zu bedienen, um die Akzeptanz der Systeme zu steigern [16]. Franceschetti und Rondelli untersuchen ebenfalls einklappbare ROPS. In Abhängigkeit verschiedener Parameter wie Fahrzeugmasse und Abmessungen werden die Betätigungskräfte bestimmt, die die fahrzeugführende Person aufbringen muss, um das Überrollschutzsystem aufzurichten oder einzuklappen [17]. Um Mehrfachüberschläge zu vermeiden, sollte die Struktur die Energie des Überschlags aufnehmen. Ein neu entwickeltes kostengünstiges Element zur Energiedissipation soll bestehende ROPS verbessern [18; 19]. Mit Hilfe einer speziellen energieabsorbierenden Metallscheibe kann die absorbierte Energie um fast 50 % erhöht werden.

Werden Schmalspurtraktoren mit einer Knicklenkung ausgestattet, ist die Bestimmung des beim Überschlag geschützten Raums zusätzlich vom Lenkwinkel abhängig. Guzzomi et al.

machen auf Unzulänglichkeiten in den OECD Vorschriften zum Testen von ROPS aufmerksam [20]. Für Traktoren mit Knicklenkung wird nach Aussage der Autoren in einigen Situationen der Schutz des Sicherheitsraums nicht garantiert. Die Autoren schlagen vor, die Vorschriften hinsichtlich Knicklenkungsfahrzeugen zu überarbeiten.

Neben dem Überschlag stellen auch fallende Objekte eine Gefahr für Fahrzeugführerinnen und -führer da. Wie ein einfaches ROPS um einen Schutz vor fallenden Objekten erweitert werden kann, zeigen Al-Bassit et al. [21].

Fahrerplatz

Kabine /Bedienung

Fendt stellt ein neues Bedienkonzept vor, das aus einer neu entwickelten Armlehne und bis zu drei Bildschirmen besteht. Die zusätzlichen Bildschirme werden dabei insbesondere durch die zunehmende Verbreitung von Farm Management System Applikationen benötigt. Die Darstellung und nahtlose Integration von fahrzeugeigenen und externen Daten soll eine intuitive und übersichtliche Bedienung ermöglichen [22]. Neben der zunehmenden Anzahl an Daten, die der fahrzeugführenden Person zur Verfügung stehen, ist die Vielfältigkeit der Arbeitsaufgaben, welche mit Traktoren durchgeführt werden können, eine Ursache für die zunehmende Komplexität der Bedienung eines Traktors. Schempp et al. stellen ein Konzept vor, das durch eine adaptive Benutzerschnittstelle diese Komplexität reduzieren soll (**Bild 2**) [23]. Insbesondere die hydraulischen Funktionen sowie die Zapfwelle stehen dabei im Fokus.

So wäre es beispielsweise vorteilhaft, wenn statt der Hydraulikfunktion die eigentliche Arbeitsfunktion durch ein Symbol charakterisiert wird, das gleichzeitig Informationen über die Aktuierungsrichtung beinhaltet. Funktionen, die in bestimmten Situationen nicht benötigt werden, sollen nicht verfügbar sein. So können z. B. Hebel oder Knöpfe ganz oder teilweise versenkt werden. Ein Schalter der z. B. zwischen Feld und Straßenmodus umschaltet kann so die benötigten Funktionen aktivieren oder nicht benötigte sperren. Eine weitere Arbeit erfasst mit Hilfe verschiedener Messwerte aus Biosensoren (z. B. Puls, Atemrate, Eye-Tracking) sowie Motion Capturing die Bedienschritte beim Arbeiten mit einem Traktor [24]. Es wurden virtuelle Fahrer erstellt und auf Basis eines erstellten Komfort-Index verschiedene Armlehnendesigns bewertet. Die finale Armlehne soll insbesondere durch kleinere Abmessungen die Wege der Bedienschritte reduzieren und dabei für 5, 50 und 95 Perzentil-Menschen geeignet sein.

Neue Konzepte landwirtschaftlicher Maschinen (**Bild 3**), die auf mehreren kleinen Maschinen beruhen, welche im Schwarm zusammenarbeiten, könnten den Fahrerplatz zukünftig stark verändern. Teilweise verzichten sie vollständig auf eine Bedienperson oder Teile der Aufgaben werden ferngesteuert [25; 26].



Bild 2: Adaptive Bedieneinheit [23]

Figure 2: Adaptive user-interface [23]



Bild 3: Neue Konzepte könnten den Fahrerplatz zukünftig stark verändern [25]

Figure 3: New concepts may change the driver's place in the future [25]

Fahrkomfort (Vibrationen)

Bis zur vollständigen Automatisierung spielt der Fahrkomfort in Traktoren weiterhin eine wichtige Rolle. Eine Multi-Domänen-Simulation zur Beurteilung von hör- und spürbaren Schwingungen (NVH) für einen Traktor mit hydrostatisch-mechanisch leistungsverzweigtem Getriebe verbindet die Einflüsse von Hydraulik, Strukturdynamik und Akustik. Die Vibrationen der Axialkolbeneinheiten werden über die Struktur sowie über die Luft in die Kabine übertragen, wo sie durch die fahrzeugführende Person wahrgenommen werden. Auf Basis von Modellen, die durch Messungen verifiziert wurden, sollen zukünftig schon in der Entwicklung Aussagen zum Geräusch in der Kabine gemacht werden [27].

Traktoren in hohen Leistungsklassen werden zunehmend mit Vorderachsfederung ausgestattet. Auch für kleine Schmalspurtraktoren, wie sie häufig im Obst- und Weinbau verwendet werden, gibt es Modelle mit gefederter Vorderachse. Mattetti et al. vergleichen jeweils einen dieser Traktoren mit und ohne Vorderachsfederung [28]. Mittels Überfahrtests über zwei parallele bzw. zueinander versetzte Hindernisse sowie mit einem Bremstest zeigen die Autoren, dass insbesondere Nickbewegungen durch das Federungssystem reduziert werden können. Der Effekt verstärkt sich bei steigenden Fahrgeschwindigkeiten. Die Rollbewegung wird nur gering von der Federung beeinflusst.

Mittels Simulation und Versuch zeigen Zheng et al. die Vibrationen eines an der Vorderachse hydro-pneumatisch gefederten Traktors [29]. Die Autoren stellen für das gewählte Fahrzeug eine Verschlechterung des Fahrkomforts durch die Vorderachsfederung fest.

Mit der Messung und Bewertung auftretender Ganzkörperschwingungen befassen sich zwei Publikationen einer Sonderausgabe der Biosystems Engineering zum Thema technischer Fortschritte zur Verbesserung der Sicherheit von landwirtschaftlichen Maschinen. Die häufig zur Bewertung von Ganzkörperschwingungen in Traktoren verwendete Norm ist die ISO 2631-1 [30]. Diese verweist für vom Sitz auf den Menschen übertragene Schwingungen auf die ISO 10326-1, nach der die fahrzeugführende Person „eine entspannte passive Körperhaltung“ einnehmen soll [31]. Die Untersuchung von Krüger zeigt, dass die in Versuchen gemessenen komfort- und gesundheitsrelevanten Schwingungen von der Körperhaltung der Personen deutlich beeinflusst werden [32]. Um eine einfachere Quantifizierung von Ganzkörperschwingungen in Traktoren zu ermöglichen, schlagen Cutini et al. eine skalare Maßzahl vor [33]. Der von den Autoren vorgestellte Wert reagiert dabei sehr sensibel auf Veränderungen am Fahrzeug und ist auf Grund der Variabilität der verschiedenen möglichen Konfigurationen eines Traktors nicht für eine Bewertung spezieller Traktormodelle geeignet, kann aber dabei helfen, verschiedene technische Lösungen zu vergleichen.

Zusammenfassung

Bei der Vielzahl von Aufgaben, die mit Traktoren heute übernommen werden, unterstützen zunehmend Assistenzsysteme bei der Bedienung. Dies lässt Raum, um weitere Informationen direkt im Fahrzeug darstellen zu können, die den landwirtschaftlichen Prozess als Ganzes darstellen. So kann die fahrzeugführende Person nicht nur sehen was der eigene Traktor gerade tut, sondern hat auch immer ein Auge auf andere Prozessparameter. Einige Zukunftsszenarien der Agrartechnik, in denen verteilte Fahrzeuge Aufgaben wie Bodenbearbeitung, Säen etc. übernehmen, könnten zu einer starken Veränderung des Fahrerplatzes führen. Bis zur vollständigen Automatisierung aller Teilfunktionen sind jedoch weitere Fortschritte in klassischen Themen wie Überrollschutz und Fahrkomfort weiterhin von Bedeutung.

Literatur

- [1] Wieckhorst, J.; Fedde, T. und Frerichs, L.: Echtzeitmessung von Traktionsparametern eines Traktors bei der Bodenbearbeitung (2019).
- [2] Regazzi, N.; Maraldi, M. und Molari, G.: A theoretical study of the parameters affecting the power delivery efficiency of an agricultural tractor. Biosystems Engineering 186 (2019), S. 214–227.
- [3] Fedde, T.; Peeters, M. und Stirnimann, R.: Soil pressure and pulling behavior of standard and half-track tractor chassis concepts. LAND. TECHNIK AgEng 2019, 8.-9.11.2019 Hannover. In: LAND. TECHNIK AgEng 2019 - The Forum for Agricultural Engineering Innovations. Düsseldorf: VDI Verlag 2019, S. 35-46.
- [4] L'Heureux, J.: Four-Tracked Solution for Large Row Crop Tractors. LAND. TECHNIK AgEng 2019, 8.-9.11.2019 Hannover. In: LAND. TECHNIK AgEng 2019 - The Forum for Agricultural Engineering Innovations. Düsseldorf: VDI Verlag 2019, S. 305-310.
- [5] Wiecha, J. G.; Bernhardt, H.; Bögel, T. und Herlitzius, T.: Reducing draft force on mounted implements by an electrified traction roller – Traction assistance on a slurry-injecting grubber. LAND. TECHNIK AgEng 2019, 8.-9.11.2019 Hannover. In: LAND. TECHNIK AgEng 2019 - The Forum for Agricultural Engineering Innovations. Düsseldorf: VDI Verlag 2019, S. 495-502.
- [6] Birk, M.; Volpert, B. und Auer, M.: Predictive driving strategy for radar-based slope detection in tractors. LAND. TECHNIK AgEng 2019, 8.-9.11.2019 Hannover. In: LAND. TECHNIK AgEng 2019 - The Forum for Agricultural Engineering Innovations. Düsseldorf: VDI Verlag 2019, S. 179-186.
- [7] Becker, S. et al.: Machine Learning for Process Automation of Agricultural Machines in Field Applications. LAND. TECHNIK AgEng 2019, 8.-9.11.2019 Hannover. In: LAND. TECHNIK AgEng 2019 - The Forum for Agricultural Engineering Innovations. Düsseldorf: VDI Verlag 2019, S. 187-198.
- [8] Oskarsson, B.; Westergaard, E. und Langer, T. H.: Optimization of tractor front loader for improved design freedom and increased operability. LAND. TECHNIK AgEng 2019, 8.-9.11.2019 Hannover. In: LAND. TECHNIK AgEng 2019 - The Forum for Agricultural Engineering Innovations. Düsseldorf: VDI Verlag 2019, S. 427-432.

- [9] Han, X. et al.: Application of a 3D tractor-driving simulator for slip estimation-based path-tracking control of auto-guided tillage operation. *Biosystems Engineering* 178 (2019), S. 70-85.
- [10] Liljenberg, S.; Frederiksen, M. und Langer, T. H.: Methods to evaluate steering performance of agricultural tractors. *LAND. TECHNIK AgEng 2019*, 8.-9.11.2019 Hannover. In: *LAND. TECHNIK AgEng 2019 - The Forum for Agricultural Engineering Innovations*. Düsseldorf: VDI Verlag 2019, S. 29-34.
- [11] Rudolph, T.; Langer, T. und Bolton, P.: Overcoming design challenges of electro-hydraulic steering systems – What really happened! *LAND. TECHNIK AgEng 2019*, 8.-9.11.2019 Hannover. In: *LAND. TECHNIK AgEng 2019 - The Forum for Agricultural Engineering Innovations*. Düsseldorf: VDI Verlag 2019, S. 489-495.
- [12] Watanabe, M. und Sakai, K.: Impact dynamics model for a nonlinear bouncing tractor during inclined passage. *Biosystems Engineering* 182 (2019), S. 84-94.
- [13] Qin, J. et al.: Simulation of active steering control for the prevention of tractor dynamic rollover on random road surfaces. *Biosystems Engineering* 185 (2019), S. 135-149.
- [14] Sun, C. et al.: Physics engine application to overturning dynamics analysis on banks and uniform slopes for an agricultural tractor with a rollover protective structure. *Biosystems Engineering* 185 (2019), S. 150-160.
- [15] Schwab, C. V.; Arbuckle, J. G. und Hanna, H. M.: Barriers and Motivators for Tractor ROPS Retrofitting in Iowa. *Journal of agricultural safety and health* 25 (2019) H. 1, S. 1-9.
- [16] Ayers, P. D. et al.: Foldable rollover protective structures: Universal lift-assist design. *Biosystems Engineering* 185 (2019), S. 116-125.
- [17] Franceschetti, B. und Rondelli, V.: Models to predict the force to operate front foldable rollover protective structures for narrow-track tractors. *Biosystems Engineering* 185 (2019), S. 126-134.
- [18] Latorre-Biel, J.-I. et al.: Development of an inexpensive rollover energy dissipation device to improve safety provided by ROPS. *Biosystems Engineering* 185 (2019), S. 88-102.
- [19] Latorre-Biel, J.-I. et al.: Characterisation of mechanical energy absorbers developed to complement of roll-over protection structures in agricultural vehicles. *Biosystems Engineering* 188 (2019), S. 40-56.
- [20] Guzzomi, A. L.; Rondelli, V. und Capacci, E.: Operator protection in rollover events of articulated narrow track tractors. *Biosystems Engineering* 185 (2019), S. 103-115.
- [21] Al-Bassit, L.; Tricot, N. und Sayegh, S.: Falling-object protective structure for tractors in service: Prototype design and validation. *Biosystems Engineering* 185 (2019), S. 76-87.

- [22] Hackfort, A.; Happich, G. und Lichtenstern, M.: Development of a Seamless User Experience for Smart Farming Applications – From Machine Interaction to System Synergy. LAND.TECHNIK AgEng 2019, 8.-9.11.2019 Hannover. In: LAND.TECHNIK AgEng 2019 - The Forum for Agricultural Engineering Innovations. Düsseldorf: VDI Verlag 2019, S. 229-234.
- [23] Schempp, T.; Kaufmann, A. und Stöhr, I.: A Field Tested Adaptive User-Interface – New Ways to Operate Tractors. LAND.TECHNIK AgEng 2019, 8.-9.11.2019 Hannover. In: LAND.TECHNIK AgEng 2019 - The Forum for Agricultural Engineering Innovations. Düsseldorf: VDI Verlag 2019, S. 235-242.
- [24] Campanella, C. et al.: Ergonomic and compact armrest of agricultural tractors – Innovative methods to design an ergonomic armrest. LAND.TECHNIK AgEng 2019, 8.-9.11.2019 Hannover. In: LAND.TECHNIK AgEng 2019 - The Forum for Agricultural Engineering Innovations. Düsseldorf: VDI Verlag 2019, S. 243-252.
- [25] Pfaffmann, S. et al.: Swarm Unit – Development of a Fully Electric Agricultural Machine with External Power Supply. LAND.TECHNIK AgEng 2019, 8.-9.11.2019 Hannover. In: LAND.TECHNIK AgEng 2019 - The Forum for Agricultural Engineering Innovations. Düsseldorf: VDI Verlag 2019, S. 401-408.
- [26] Herlitzius, T. et al.: Feldschwarm – Modular and Scalable Tillage Systems with Shared Autonomy. LAND.TECHNIK AgEng 2019, 8.-9.11.2019 Hannover. In: LAND.TECHNIK AgEng 2019 - The Forum for Agricultural Engineering Innovations. Düsseldorf: VDI Verlag 2019, S. 409–420.
- [27] Pasch, G. et al.: Multi-Domain Simulation for the Assessment of the NVH Behaviour of a Tractor with Hydrostatic-Mechanical Power Split Transmission. LAND.TECHNIK AgEng 2019, 8.-9.11.2019 Hannover. In: LAND.TECHNIK AgEng 2019 - The Forum for Agricultural Engineering Innovations. Düsseldorf: VDI Verlag 2019, S. 19-27.
- [28] Mattetti, M. et al.: Experimental characterisation of front axle suspension systems for narrow-track tractors. Biosystems Engineering 185 (2019), S. 45-55.
- [29] Zheng, E. et al.: Investigation into the vibration characteristics of agricultural wheeled tractor-implement system with hydro-pneumatic suspension on the front axle. Biosystems Engineering 186 (2019), S. 14-33.
- [30] N.N.: ISO 2631. Mechanical vibration and shock - Evaluation of human exposure to whole-body vibration. 1997.
- [31] N.N.: ISO 10326-1. Mechanical vibration - Laboratory method for evaluating vehicle seat vibration - Part 1: Basic requirements. 2016.
- [32] Krüger, J.: Influence of posture on the deviation of measured acceleration values for tractor operators. Biosystems Engineering 185 (2019), S. 56-63.
- [33] Cutini, M.; Brambilla, M. und Bisaglia, C.: Assessment of a ride comfort number for agricultural tractors: A simplified approach. Biosystems Engineering 185 (2019), S. 35-44.

Autorendaten

Dr.-Ing. Jan Krüger ist wissenschaftlicher Mitarbeiter im Fachgebiet Konstruktion von Maschinensystemen an der Technischen Universität Berlin.

Prof. Dr.-Ing. Henning J. Meyer ist Leiter des Fachgebietes Konstruktion von Maschinensystemen an der Technischen Universität Berlin.

Bibliografische Angaben / Bibliographic Information

Wissenschaftliches Review / Scientific Review

Erfolgreiches Review am 09.03.2020

Empfohlene Zitierweise / Recommended Form of Citation

Krüger, Jan; Meyer, Henning Jürgen: Fahrdynamik – Fahrsicherheit – Fahrerplatz. In: Frerichs, Ludger (Hrsg.): Jahrbuch Agrartechnik 2019. Braunschweig: Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge, 2020. S. 1-11

Zitierfähige URL / Citable URL

<https://doi.org/10.24355/dbbs.084-202001201527-0>

Link zum Beitrag / Link to Article

<https://www.jahrbuch-agrartechnik.de/artikelansicht/jahrbuch-2019/chapter/fahrsicherheit.html>

Dieser Beitrag wird unter einer CC-BY-NC-ND 4.0 Lizenz veröffentlicht.